

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Tomislav Starčević**

**Upravljanje pokazivačima smjera na biciklističkoj jakni**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 24. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**  
Predmet: **Algoritmi i programiranje**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 3936**

Pristupnik: **Tomislav Starčević (0135238346)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Upravljanje pokazivačima smjera na biciklističkoj jakni**

### **Opis zadatka:**

U radu će se opisati automatska regulacija mogućnosti njezine primjene u prometnim sustavima nemotoriziranog prometa. Upravljanje pokazivačima smjera na biciklističkoj jakni izvršit će se upotrebom Arduino mikrokontrolera te osjetilima potrebnim za automatsku regulaciju. Primjenom automatske regulacije povećat će se sigurnost pri izravnom i neizravnom skretanju biciklista.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

dr. sc. Juraj Fosin

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**ZAVRŠNI RAD**

**UPRAVLJANJE POKAZIVAČIMA SMJERA NA BICIKLISTIČKOJ  
JAKNI**

**REGULATION OF TURN SIGNALS ON CYCLING JACKET**

Mentor: dr. sc. Juraj Fosin

Student: Tomislav Starčević  
JMBAG: 0135238346

Zagreb, rujan 2017.

## **Sažetak**

### **Upravljanje pokazivačima smjera na biciklističkoj jakni**

U ovom radu je opisana automatska regulacija i mogućnosti njezine primjene u prometnim sustavima nemotoriziranog prometa. Upravljanje pokazivačima smjera na biciklističkoj jakni izvršit će se upotrebom Arduino mikrokontrolera te osjetilima potrebnim za automatsku regulaciju. Primjenom automatske regulacije povećat će se sigurnost pri izravnom i neizravnom skretanju biciklista. Izrađena je biciklistička jakna na koju su ugrađeni pokazivači smjera koji su automatski regulirani.

**Ključne riječi:** automatska regulacija; biciklistički promet; Arduino; ultrazvuk

## **Abstract**

### **Regulation of Turn Signals on Bicycle Jacket**

This work describes automatic regulation and the possibilities for its regulation in unmotorized traffic systems. Direction indicators on the cycling jacket will be operated using the Arduino micro-controller and senses necessary for automatic regulation. Automatic regulation will improve the safety of direct and indirect turning of cyclists. A cycling jacket in which automatically regulated direction pointers are installed has been created.

**Key words:** automatic regulation; bicycle traffic; Arduino; ultrasound

# Sadržaj

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Automatska regulacija.....</b>	<b>3</b>
2.1 Definiranje automatske regulacije .....	3
2.2 Elementi regulacijskog sustava .....	3
2.3 Osnovni zahtjevi pri regulaciji .....	4
2.4 Modeliranje automatskog sustava upravljanja .....	5
2.4.1 Matematički model automatskog sustava upravljanja .....	5
2.4.2 Modeliranje matematičkog modela električnih sustava.....	7
<b>3. Biciklistički promet .....</b>	<b>9</b>
3.1 Povijest razvoja biciklističkog prometa .....	9
3.2 Tipovi i anatomija bicikala .....	9
3.3 Modalna razdioba prometa u Europi i Hrvatskoj .....	10
3.4 Biciklističke prometnice.....	11
3.5 Osobitosti biciklističkog prometa .....	12
<b>4. Arduino razvojna platforma .....</b>	<b>15</b>
4.1 Mikrokontroler.....	15
4.2 Arduino razvojna pločica .....	15
4.3 Integrirano razvojno okruženje Arduino .....	16
<b>5. Sustavi s ultrazvučnom tehnologijom .....</b>	<b>19</b>
5.1 Osnovni principi ultrazvuka .....	19
5.2 Ultrazvučna brzina .....	20
5.3 Kreiranje i mjerenje ultrazvuka.....	21
5.4 Ultrazvučni senzor HC–SR04.....	21
<b>6. Automatska regulacija pokazivača smjera.....</b>	<b>24</b>
6.1 Tehničke karakteristike sustava.....	24
6.2 Način rada regulacije sustava .....	26
6.3 Algoritam rada automatskog regulacijskog sustava .....	28
6.4 Primjena sustava regulacije za rješavanje prometnog problem lijevog skretanja bikiklista u prometu .....	29
6.4.1 Izravno skretanje biciklista lijevo .....	30
6.4.2 Neizravno skretanje biciklista lijevo .....	30
6.4.3 Prolazak biciklista na raskrižju kao pješak .....	31

6.4.4 Poboljšanje sigurnosti biciklista pomoću sustava regulacije pokazivača smjera ...	31
6.5 Prototip biciklističke jakne „Easy2Ride“ .....	31
<b>7. Zaključak .....</b>	<b>36</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>37</b>
<b>Popis slika.....</b>	<b>38</b>
<b>Popis ilustracija .....</b>	<b>39</b>
<i>Popis tablica.....</i>	<i>39</i>
<i>Popis grafikona.....</i>	<i>39</i>
<b>Popis priloga .....</b>	<b>40</b>
<i>Prilog 1. Arduino kôd za regulaciju pokazivača smjera na biciklističkoj jakni.....</i>	<i>40</i>

# 1. Uvod

Razvojem tehnologije razvija se i društvo, čime se doprinosi poboljšanju kvalitete života ljudi. Jedan od primjera je urbana mobilnost. Urbanu mobilnost možemo definirati kao sveukupna putovanja svih stanovnika određenog grada tijekom dana te potrebne metode i uvjete koji su povezani s tim putovanjima (vid prometa, duljina putovanja, trajanje putovanja). Urbane sredine globalno, suočavaju se s nizom izazova: klimatske promjene, velikim zagađenjem automobila, ekonomskim krizama, zdravstvenim poteškoćama itd. Stoga se nameće pitanje kako stvoriti urbanu sredinu koja može odgovoriti na sve ove zahtjeve.

Jedan od pristupa koji se može primijeniti u prometno zagušenoj urbanoj sredini je porast biciklističkog prometa. Porastom biciklističkom prometa želi se potaknuti građane da u svojim gradskim putovanjima koriste što manje automobile. Time se želi smanjiti zagađenje koje automobili stvaraju, poboljšati zdravstveno stanje građana, poboljšati ekonomsko stanje i dr. Može se navesti mnogo gradova (Amsterdam, Malmö, Kopenhagen, Sheffield) koji su koristili ovakvu prometnu politiku kao primjer [6], [9].

Povećanje i razvoj biciklističkog prometa ne može biti jedini pristup razvoja mobilnosti u nekoj urbanoj sredini. Potrebno je razvijati više pristupa istodobno te poticati građane na korištenje alternativnih i održivih prijevoznih sredstava. Potrebno je uvoditi nova tehnološka rješenja poput sustava automatske naplate karata (eng. *seamless*) za javni prijevoz, subvencioniranje kupovine električnih vozila, sustav dijeljenja bicikala (eng. *bike share*), sustav za dijeljenje automobila (eng. *carpool*) i dr. [6].

Kao najbolji primjer može se uzeti grad Sheffield. U tom gradu je 2005. godine napravljena politika smanjenja energetske potrošnje. Glavna nit vodilja politike bila je zamjena putovanja obavljenih automobilom s biciklima. Kroz niz rješenja poput zabrane motornim vozilima ulazak u bliži centar grada, subvencioniranje kupovine i popravak bicikala te ulaganja u izgradnju i obnovu biciklističke infrastrukture postigli su velike uštede energije i novca [13].

Razvojem urbanih sredina s novim tehnologijama i novim prometnim rješenjima stvara se novi pojam-pametni gradovi (eng. *Smart cities*). Pametni gradovi definiraju se kao vizija urbanog razvoja uz pomoć informacijsko-komunikacijskih rješenja i Interneta stvari (eng. *Internet of Things*) kako bi se sigurno upravljalo gradom kao cjelinom. Pametno prometno upravljanje je jedan od osnovnih elemenata da bi se jedan grad nazvao pametnim. Inteligentni transportni sustavi u svojoj osnovi kao informacijsko-komunikacijska nadogradnja klasičnog prometnog sustava mogu ponuditi najviše „pametnih“ prometnih rješenja u jednom gradu. Bitno je naglasiti da nisu samo nove tehnologije i njihova primjena cilj kojem se treba težiti u pametnom gradu. Potrebno je koristiti i druga rješenja poput razvoja biciklističkog prometa i smanjenja broja motornih vozila kako bi se ostvarila jedna održiva urbana sredina (pametni grad) [18].

Rad je podijeljen u 7 cjelina:

1. Uvod;

2. Automatska regulacija;
3. Biciklistički promet;
4. Arduino razvojna platforma;
5. Sustavi s ultrazvučnom tehnologijom;
6. Automatska regulacija pokazivača smjera;
7. Zaključak.

U radu opisana je regulacija pokazivača smjera koji se nalaze na biciklističkoj jakni uz pomoć platforme Arduino, a sve u svrhu povećanja sigurnosti biciklista u prometu. Opisan je biciklistički promet sa svojim prednostima i nedostacima te problemima s kojim se suočavaju biciklisti u suvremenom prometnom sustavu. Opisano je kako ovaj sustav automatske regulacije može pomoći da osigura što veću sigurnost biciklistima kao sudionicima prometnog sustava u cjelini te ostalim sudionicima u prometu. U radu je opisano i korišteno razvojno okruženje Arduino.

Uz samo rješenje u radu su opisani i biciklistički promet kao podsustav prometa i opisana je općenito automatska regulacija te koji su elementi i zahtjevi pri takvoj regulaciji [6]. Automatsko upravljanje obuhvaća jedan širi pojam od automatske regulacije. Definira se kao reakcija na ili adaptacija cijelog sustava prema promjeni parametara objekta upravljanja i iznosu smetnji.

U sklopu rada je izrađen prototip jakne na kojoj se nalaze pokazivači smjera koji su automatski regulirani. Mikrokontroler Arduino i ultrazvučna osjetila su ušiveni na unutrašnjoj strani jakne kao i žice te ostali dijelovi sustava. Time je jakna u potpunosti pristupačna i lako nosiva. Jedna od glavnih koristi ovakvog sustava regulacije je poboljšanje sigurnosti biciklista koji ju nosi.

Najčešće pitanje koje se postavlja kada se govori o biciklističkom prometu je kako riješiti sigurnost biciklista, tj. kako da postanu manje ugroženi. Naročito kada mijenjaju smjer kretanja odnosno skreću u drugu ulicu. U ovom radu opisano je jedno od mogućih rješenja za povećanje sigurnosti kada biciklisti žele skrenuti u određenom smjeru preko cestovnih prometnica gdje može doći do kolizije s ostalim vozilima u prometu. Rješenje se zasniva na tome da vozač nekog drugog vozila u prometu što bolje uoči biciklista koji se nalazi ispred ili kraj njega pomoću svjetlosne signalizacije jakne.



## 2. Automatska regulacija

### 2.1 Definiranje automatske regulacije

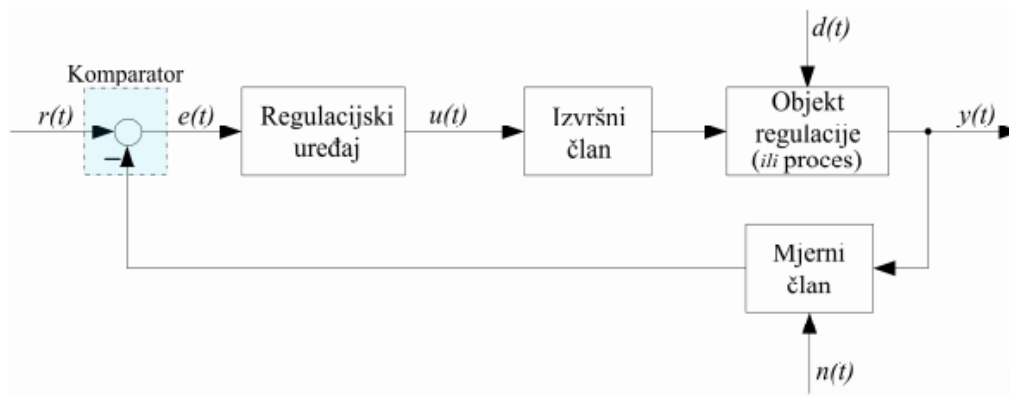
Automatska regulacija je automatsko održavanje željenog stanja nekog procesa ili mijenjanje tog stanja po određenom principu, bez obzira na djelovanje unutarnjih i vanjskih smetnji. Za postizanje takvog djelovanja koristi se povratna veza koja uspoređuje izmjerenu trenutnu vrijednost sustava s njenom željenom (referentnom) vrijednošću te se na osnovu razlike te dvije vrijednosti odlučuje kako će izvršni član raditi da sustav dovede u željeno stanje. Predmet nad kojim se može vršiti automatska regulacija može biti uređaj, stroj, dio stroja, sklop ili prometni entitet te vozilo kao krajnji cilj automatske regulacije u prometu.

U sustavima automatske regulacije koristi se negativna povratna veza jer ona daje stabilan sustav. Uz to sustav automatske regulacije mora izvršavati naredbe automatski, i taj sustav mora sadržavati sklop za usporedbu signala i komunikacijski modul kako bi mogao komunicirati i izvršavati naredbe [3], [11].

### 2.2 Elementi regulacijskog sustava

U elemente regulacijskog sustava spadaju (slika 1):

- **$r(t)$  – referentna veličina** - predstavlja željeno stanje sustava kojim upravljamo;
- **$e(t)$  – regulacijsko odstupanje** – je razlika između referentne i regulirane veličine;
- **Regulacijski uređaj** – dio sustava koji generira ulaznu veličinu koja djeluje na regulirani proces, on sadrži pojačalo, vremensko djelovanje i sklop za usporedbu signala te može sadržavati dodatne elemente (analogno-digitalne pretvornike, filtre, digitalno-analogne pretvornike, ...);
- **$u(t)$  – ulazna vrijednost** – je signal koji izlazi iz regulacijskog uređaja u sam proces;
- **objekt regulacije (proces)** – obuhvaća sustav, podsustav ili proces čije su veličine predmet regulacije;
- **$d(t)$  – smetnja** – je signal iz okoline koji ima neželjeni utjecaj na proces te se smetnjom može smatrati svako djelovanje koje sustav izbacuje iz željenog stanja određenog referentnom veličinom;
- **$y(t)$  – izlazna vrijednost** – predstavlja izlaznu vrijednost reguliranog sustava;
- **Komparator** – sprava kojom je moguća usporedba s nekom standardnom veličinom (ulazom);
- **Izvršni član** – opskrbljuje energijom ili materijalom potrebnim za vođenje procesa;
- **Mjerni član** – zadužen je za mjerenje regulirane veličine;
- **$n(t)$  – mjerni šum** - predstavlja pogrešku u mjerenju, koja je uvijek prisutna.



Slika 1. Poopćeni osnovni blok dijagram automatske regulacije s postavnim i mjernim članom [3]

### 2.3 Osnovni zahtjevi pri regulaciji

Najvažniji elementi regulacijskog sustava su stabilnost, točnost i brzina odziva, stoga je bitno da se proučavaju dinamički uvjeti rada kako bi se osigurala što veća stabilnost sustava. No bitno je znati da su regulacijski procesi i prijelazna pojava pri prijelazu između dva stabilna sustava, zbog toga je bitno pratiti uvjete rada stabilnosti.

Stabilnim sustavom može se smatrati onaj sustav koji početkom rada u blizini svoje radne točke ostaje zauvijek u njenoj okolini, tj. stabilan sustav je onaj sustav čiji izlaz ostaje upravljiv cijelo vrijeme. Stabilnost sustava se može definirati kao BIBO (engl. Bounded input – Bounded output) koja kaže:

*Stabilan sustav je onaj koji daje ograničeni odziv na bilo koju ograničenu pobudu, uvjetno stabilan sustav je onaj koji daje ograničeni odziv na neke, ali ne sve, ograničene pobude, a nestabilan sustav je onaj koji daje neograničen odziv na svaku ograničenu pobudu različitu od nule [3].*

Također stabilnost je i preduvjet za ostale parametre sustava, tj. za točnost i brzinu, stoga možemo reći da je stabilnost najbitniji dio regulacijskog sustava. Sustav s negativnom povratnom vezom je stabilan u određenom području vrijednosti parametra. No kod negativne povratne veze svojstveni su oscilacijski odzivi pa može doći do toga da negativna povratna veza prijeđe u pozitivnu pa sustav zbog toga postane nestabilan [3].

## 2.4 Modeliranje automatskog sustava upravljanja

Radi lakšeg razumijevanja i modeliranja sustava s negativnom povratnom vezom koriste se matematički modeli. Pri tome se mora znati da matematički model nije vjerna slika nekog sustava jer nije moguće matematički opisati sva svojstva realnog sustava. Ono što mora biti uključeno u opis sustava su sva bitna svojstva elemenata koja direktno utječu na sustav.

Matematički modeli sustava mogu biti statički i dinamički, kontinuirani i diskretni te deterministički i stohastički. Matematički opis dinamike kontinuiranih sustava automatskog upravljanja može biti dan [4]:

- diferencijalnim jednadžbama;
- jednadžbama varijabli stanja u matričnom obliku;
- frekvencijskim karakteristikama (npr. putem Boodeovog ili Nyquistovog dijagrama);
- prijenosnim funkcijama.

Matematički opis dinamike diskretnih sustava automatskog upravljanja definira se s [4]:

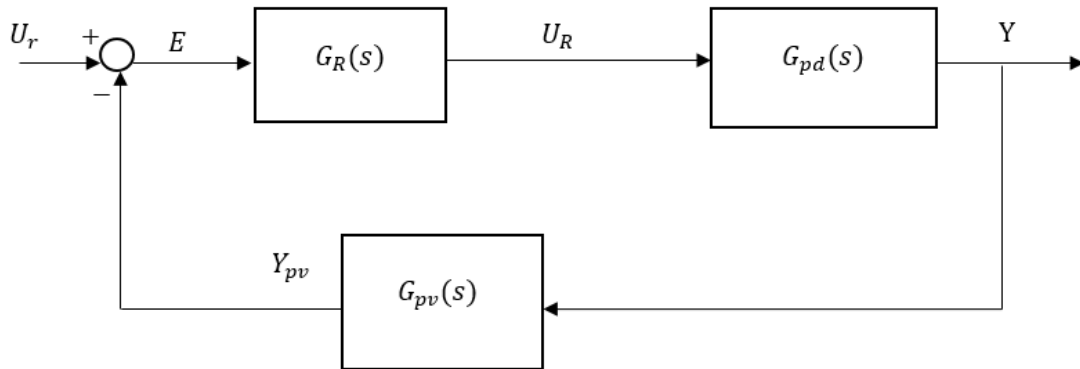
- jednadžbama diskretnih varijabli stanja u matričnom obliku;
- jednadžbama diferencija;
- prijenosnim funkcijama;
- frekvencijskim karakteristikama u pseudofrekvencijskom području.

### 2.4.1 Matematički model automatskog sustava upravljanja

Matematički modeli su matematički objekti koji se koriste za opis raznorodnih procesa čija se stanja vremenom mijenjaju. Osnovna svrha svakog matematičkog modela u automatici je analiza i sinteza sustava upravljanja.

Pri opisu ponašanja procesa matematički razlikujemo stacionarni i dinamički model. Stacionarnim modelom opisuje se vladanje sustava u ustaljenom (stacionarnom) stanju. Dinamičkim modelom opisuje se vladanje sustava pri prijelazu iz jednog stanja u drugo, a brzina prijelaza ovisi o specifičnim karakteristikama sustava i pobudnom signalu koji djeluje na ulazu procesa [19].

Kako bi matematički model bio jasan i razumljiv svima često se prikazuje u grafičkom obliku. Za prikaz matematičkog modela u grafičkom obliku koriste se blokovski dijagrami i dijagrami toka signala. Blokovski dijagram je apstraktni prikaz sustava koji ne prikazuje fizikalnu strukturu sustava, energetske izvore i energetske tijekove te tijekove materijala. Blokovski dijagram koristi se za prikaz tijeka signala u sustavu i zanemaruju se tehnološki detalji sustava radi lakšeg razumijevanja automatskog sustava upravljanja.



Slika 2. Blokovska shema osnovnog sustava s povratnom vezom [4]

Na slici 2 blokovski dijagram sadrži ulazni signal  $U_r$  te izlazni signal  $Y$  koji je potrebno dobiti kroz slijed matematičkih operacija unutar modela. Također, model na slici 2 sadrži blokove: regulator s prijenosnom funkcijom  $G_R(s)$ , proces prijenosnom funkcijom u direktnoj grani  $G_{pd}(s)$  i povratnu vezu procesa s prijenosnom funkcijom  $G_{pv}(s)$ . Bitno je naglasiti da bi jedan ovakav sustav automatske regulacije bio stabilan njegova povratna veza  $Y_{pv}$  mora biti negativna.

Sustav s negativnom povratnom vezom na Slika 2 opisan je s jednadžbama [4]:

$$Y(s) = G_R(s) G_{pd}(s) E(s), \quad (1)$$

$$E(s) = U_r(s) - Y_{pv}(s), \quad (2)$$

$$Y_{pv}(s) = G_{pv}(s) Y(s). \quad (3)$$

Uvrštavanjem jednadžbe (2) i (3) u (1) i sređivanjem dobivene jednadžbe dobije se prijenosna funkcija zatvorenoga sustava [4]:

$$G_z(s) = \frac{Y(s)}{U_r(s)} = \frac{G_R(s)G_{pd}(s)}{1 + G_R(s)G_{pd}(s)G_{pv}(s)} = \frac{G_d(s)}{1 + G_{oR}(s)}, \quad (4)$$

gdje je [4]:

- $G_d(s) = G_R(s)G_{pd}(s)$  – prijenosna funkcija direktne grane;
- $G_{oR}(s) = G_R(s) G_p(s)$  - prijenosna funkcija otvorenog sustava s regulatorom;
- $G_p(s) = G_{pd}(s)G_{pv}(s)$  – prijenosna funkcija procesa.

## 2.4.2 Modeliranje matematičkog modela električnih sustava

Elementarni dijelovi svakog električnog sustava su: otpornici, kondenzatori, zavojnice, trošila, naponski izvori, i dr. S obzirom na svoju funkciju i način rada možemo svaki ovaj element definirati putem matematičkih jednadžbi. Za otpornik, tj. za ovisnost napona  $u$  o struji  $i$  vrijedi [4]:

$$u(t) = R i(t) = R \frac{dq(t)}{dt}, \quad i(t) = \frac{u(t)}{R}, \quad (5)$$

gdje je:

- $u$  – napon [V];
- $i$  – struja [A];
- $q$  – naboj [C];
- $R$  – otpor [ $\Omega$ ];
- $t$  – vrijeme.

Za impedanciju<sup>1</sup> otpornika iz jednadžbe (5) dobije se [4]:

$$Z_r(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = R. \quad (6)$$

Za kondenzator vrijede relacije ovisnosti napona o struji te naboju  $q$  prema:

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau = \frac{q(t)}{C}, \quad i(t) = C \frac{du(t)}{dt}, \quad (7)$$

---

<sup>1</sup> Impedancija – mjera suprotavljanja prolasku izmjenične struje kroz strujni krug

gdje je C kapacitet [F] [4].

Ako se primjene pravila Laplaceovih transformacija na jednadžbu (7) i ako su početni uvjeti jednaki nuli, dolazi se do sljedećeg izraza [4]:

$$U(s) = \frac{1}{C_s} I(s). \quad (8)$$

Ako se želi dobiti impedancija kondenzatora onda iz jednadžbe (8) se izvede [4]:

$$Z_c(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = \frac{1}{C_s}. \quad (9)$$

### 3. Biciklistički promet

Bicikl se definira kao cestovno vozilo s dva kotača koje se pokreće snagom mišića osobe koja ga vozi ili električnim motorom (do brzina oko 30 km/h). Biciklistički promet spada u nemotorizirani promet kao jedna od osnova tog prometa. U nekim europskim državama (Nizozemska, Švedska, Danska, ...) biciklistički promet u gradovima iznosi i do 30% ukupnog gradskog prometa. U samoj Europi 30% putovanja je manja od 3 kilometra, stoga bicikl kao prijevozno sredstvo može pridonijeti i u ekonomskom i ekološkom dijelu prometnog sustava [9].

#### 3.1 Povijest razvoja biciklističkog prometa

Prvi bicikl kao sigurno prijevozno sredstvo pojavio se između 1885. i 1890. godine u Engleskoj. Izumio ga je John Kemp Starley pod imenom Rover i to je prvi bicikl koji je imao dva zupčanika različitih veličina.

Nakon toga bicikl svoj put razvoja nastavlja sve do 1950-ih godina kada u široku primjenu dolaze takozvani trkaći bicikli s brzinama. Nakon toga 1960-ih godina pojavljuje se u Europi danas jako popularni brdski bicikl.

Sve do danas ova dva tipa bicikala (brdski i trkaći) ostaju najpopularniji oblik bicikla u cijelom svijetu, jedan zbog svoje brzine, a drugi zbog mogućnosti vožnje po raznim terenima.

U Hrvatskoj prvi bicikl se pojavljuje u Zagrebu 1897. godine te u isto vrijeme u Karlovcu, a bicikli su dopremljeni sa Svjetske izložbe u Parizu. Prva organizacija koja je organizirala utrke i okupljanja biciklista osnovana je 1885. godine i zvala se *Prvo hrvatsko društvo biciklista*. Tijekom 1894. godine osnovan je i prvi športski savez u Hrvatskoj *Savez hrvatskih biciklista*. Organizirane su cestovne utrke s natjecateljima iz cijele Hrvatske i usporedno s time nastajali su razni sportski klubovi i organizacije duž cijele Hrvatske.

Biciklistički savez hrvatske član je Međunarodne biciklističke unije od 24. srpnja 1992. godine.

#### 3.2 Tipovi i anatomija bicikala

Sve do danas razvio se veliki broj različitih tipova bicikala koji se razlikuju po svojoj anatomiji i svrsi. Zbog velike i različite primjene bicikala nije lako napraviti točnu klasifikaciju bicikala po određenoj svrsi ili funkcionalnosti. Ono što se može napraviti jesu različite podjele.

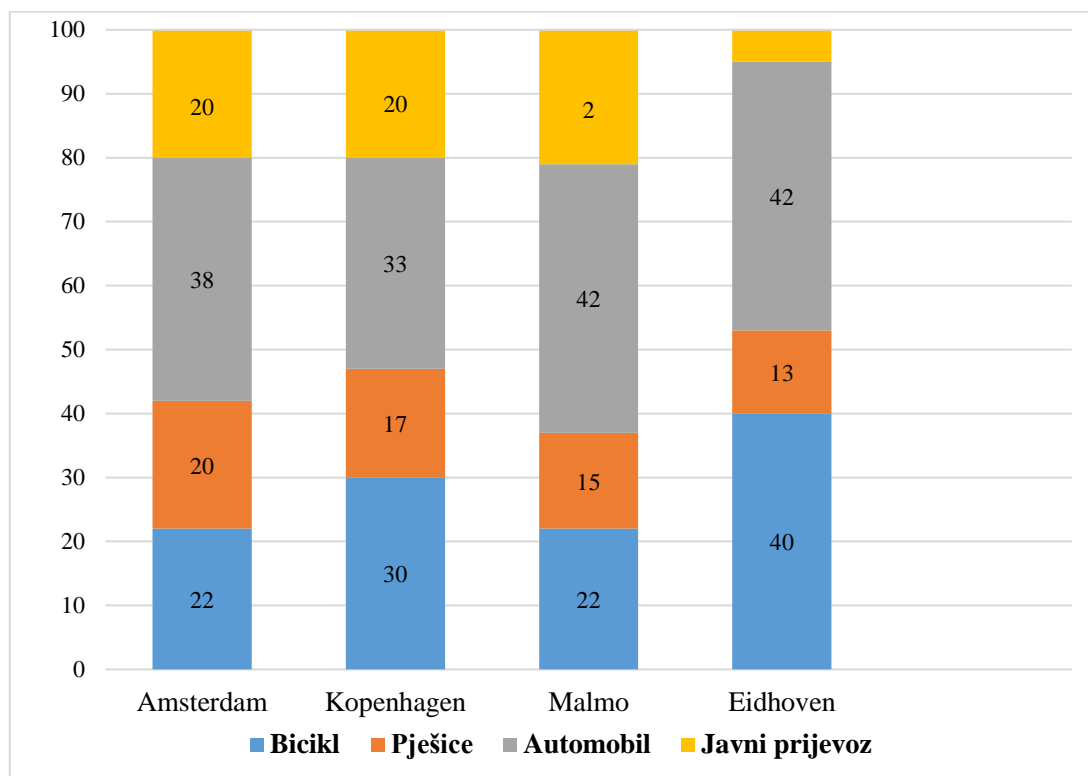
Jedna od standardnih podjela je [9]:

- cestovni bicikli – gradski promet;
- bicikli za duga putovanja – međugradska putovanja, cikloturizam;
- brdski bicikli – vožnja po šumskim putovima i stazama;
- sportski bicikli – trkaći, BMX, i dr.;
- bicikli za prijevoz tereta;
- hibridni bicikli.

Bicikli mogu biti pokrenuti samo ljudskom snagom, ljudskom snagom i električnim motorom i samo električnim motorom. Ova podjela je jako bitna jer se mora ustanoviti razlika između bicikla i motocikla [5].

### 3.3 Modalna razdioba prometa u Europi i Hrvatskoj

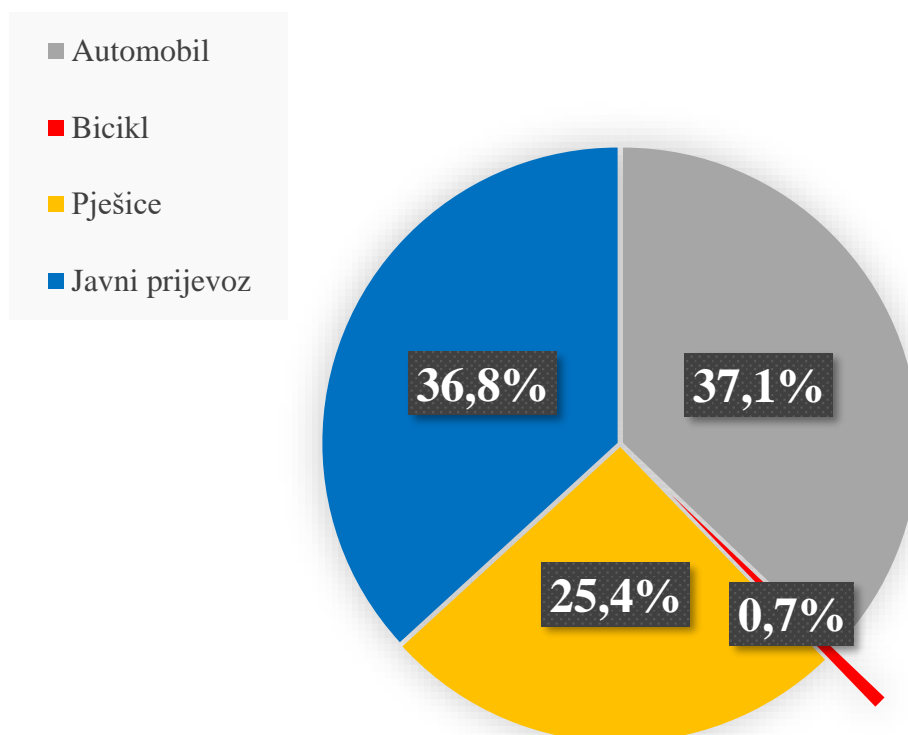
Modalna razdioba uvelike se razlikuje od države do države, a značajne su razlike i između gradova unutar jedne države. U većini gradova Europe i dalje prevladava automobil kao glavni oblik prijevoza. Na grafikonu 1 prikazani su već spomenuti gradovi koji slove za „biciklističke gradove“. Može se vidjeti da je udio pješackog prometa (kao nemotoriziranog prometa) otprilike isti kao i u gradu Zagrebu (grafikon 2). Razlika je udjel biciklističkog prometa koji je daleko veći od udjela u Zagrebu (0,7%). Zbog toga gradove na grafikonu 1 možemo nazvati „biciklističkim“ [20].



Grafikon 1. Modalna razdioba prometa u pojedinim gradovima Europe u [%] [20]



Razlog ovakvim varijacijama u raspodjeli prometa može se pripisati drugačijim ekonomijama gradova, efektivnom korištenju prostora u gradu, klimom, kulturom, i ponajviše prometnoj politici određenog grada ili države. U usporedbi s gore navedenim gradovima Zagreb najviše posustaje u prometnoj politici koja nije okrenuta alternativnom načinu prijevoza.



Grafikon 2. Modalna razdioba prometa u gradu Zagrebu u [%] [20]

### 3.4 Biciklističke prometnice

Biciklistički promet može smanjiti gradske gužve, zagađenje zraka, smanjiti potražnju za gradskim parkingom te povećati zdravlje ljudi. Prilikom izgradnje biciklističkih staza/traka u gradu potrebno je prije svega utvrditi gdje i kako smjestiti staze/trake.

Postoji više rješenja koje se koriste, a glavna podjela je prema [1]:

- **smještaju na cesti** (*jednostrane, dvostrane/obostrane*);
- **smjeru vožnje** (*jednosmjerne i dvosmjerne*);
- **broju trakova** (*jednotračne, dvotračne*);
- **integraciji u prometnoj mreži** (*integrirane, segregirane*).

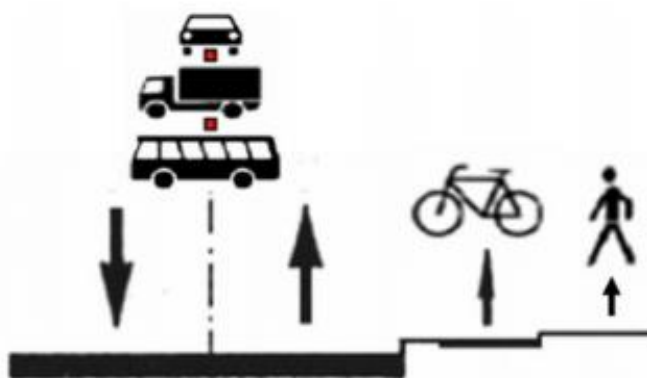
Tri faktora koji najviše utječu na odabir vrste i dizajna biciklističke prometnice su [1]:

- intenzitet biciklističkog prometa;
- dozvoljena brzina za motorizirani promet;
- i intenzitet motoriziranog prometa.

Za odabir biciklističke prometnice potrebno je sagledati širu sliku prometnog sustava urbane sredine. U stručnoj literaturi se navode osnovni kriteriji prema kojemu se odabire prometnica, no konačnu odluku donosi dizajner prometnog sustava ovisno o potrebama i želji korisnika. Kriteriji koje je potrebno pratiti pri izgradnji prometnice su [2], [9]:

- kriterij količine prometa;
- kriterij količine prometa teških vozila;
- kriterij raspoloživosti prostora;
- kriterij parkiranja;
- kriterij raskrižja i pristupa stambenim zgradama;
- kriterij uzdužnog nagiba.

Možda i najbolje rješenje za biciklistički promet su uzdužne biciklističke prometnice – segregacija (slika 3). S obzirom na različite skupine prometnih sudionika i na njihove različite brzine kretanja svakoj skupini bi trebalo osigurati prometnu površinu s ovim tipom prometnica [2], [9].



Slika 3. Vođenje sudionika u prometu prikazano u poprečnom profilu ceste [9]

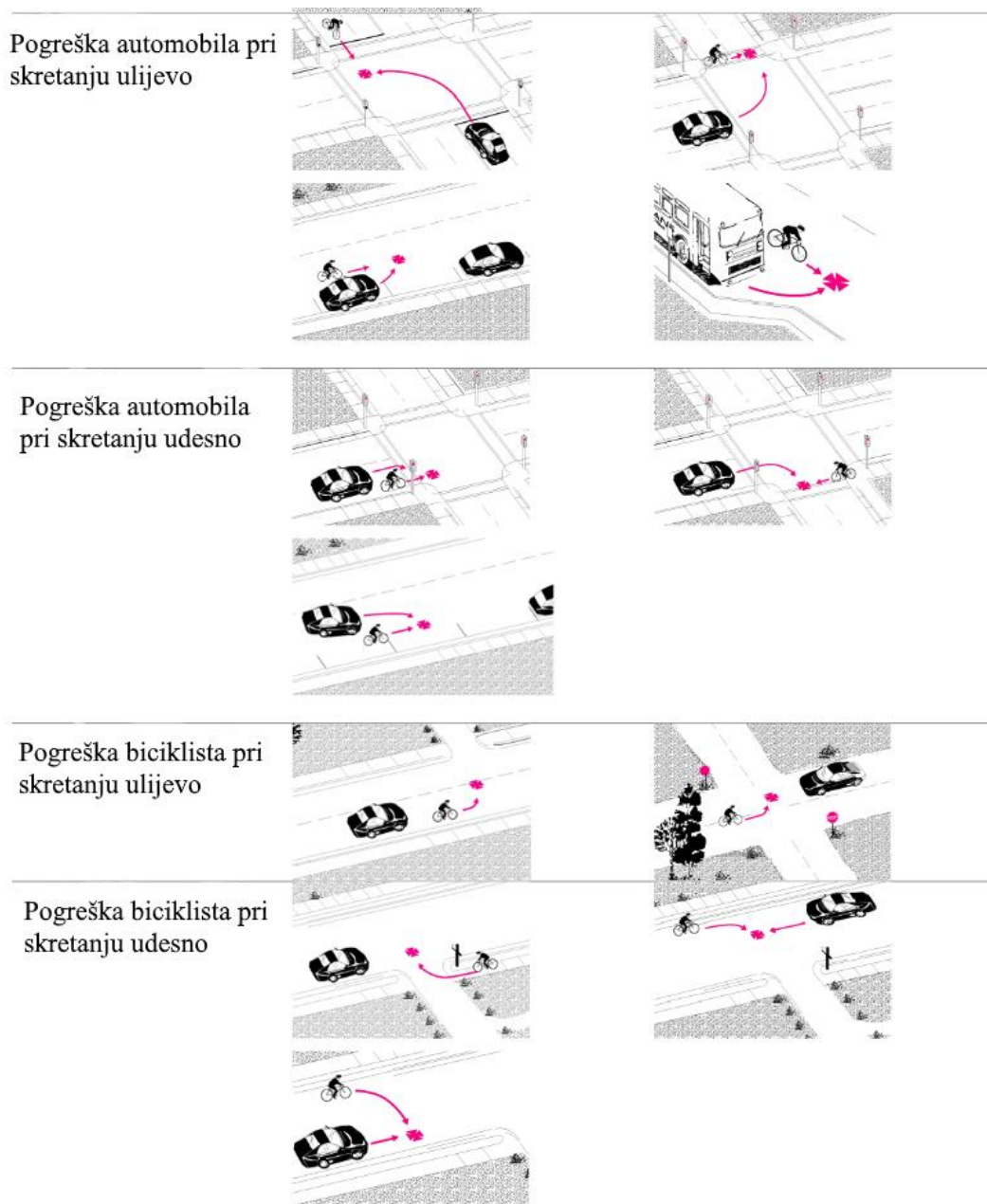
### 3.5 Osobitosti biciklističkog prometa

Problemi koji se javljaju u biciklističkom prometu najčešće se vežu za sigurnost samih biciklista. Oni su najugroženiji kada prelaze cestu što se najčešće događa na raskrižjima.

Prijelaz biciklista preko ceste može se izvesti u razini i izvan razine ceste te ovisno o izvedbi prijelaza biciklisti mogu prijeći isti vožnjom ili usporednim guranjem bicikla.

Mnogi biciklisti ne poštuju ta pravila pa često dolazi do kolizije između automobila i pješaka s biciklistima. Potrebno je napomenuti da pješaci u većini slučajeva ne poštuju biciklističke trake/staze. Da bi se takvi problemi riješili potrebno je educirati i upozoravati građane na taj problem. Tramvajske tračnice i loša izvedba nogostupa često kao i drugi razni tehnički nedostaci cestovnih prometnica utječu na sigurnost biciklista u prometu.

U mnogim gradovima u Europi pa i u Zagrebu sve je manje površine za izgradnju prometne infrastrukture. Ponajviše u Zagrebu te ostatku Hrvatske to se događa zbog nepoznavanja prometnog sustava (pogotovo pojma održive urbane mobilnosti). Urbana mobilnost je prometno rješenje u kojem se prednost daje javnom gradskom prijevozu i biciklima, u centrima gradova, umjesto osobnim vozilima. Ovakvim načinom organiziranja prometnog sustava u gradu se uvelike smanjuju gužve što je i potvrđeno raznim primjerima u svijetu [1], [2], [12].



Slika 4. *Primjeri kolizije između vozača bicikla i drugih vozila* [9]

Na slici 4 mogu se vidjeti primjeri kako nastaju nesreće između biciklista i osobnih vozila. Možemo vidjeti da u takvim prometnim nesrećama imaju jednaku odgovornost i biciklisti i vozači osobnih vozila koji često i ne prate prometna pravila bilo to semaforizirano ili nesemaforizirano raskrižje. Biciklisti su najugroženiji prilikom obavljanja prometne operacije izravnog lijevog skretanja (slika 4, „*pogreška biciklista pri skretanju ulijevo*“) što je kasnije i opisano. Pri tome sustav automatske regulacije pokazivača smjera koji se opisuje u ovome radu može uvelike pomoći vozačima koji se voze iza bicikla kako bi unaprijed mogli znati iduću akciju istog [9].

## **4. Arduino razvojna platforma**

Arduino platforma je programerska i elektronička platforma za razvoj različitih projekata koja je otvorenog kôda. Koriste ga studenti, umjetnici, programeri i profesionalci. Kroz zadnjih 10-ak godina oni su svi pridonijeli tome da Arduino postane popularan i dostupan svima. Arduino je nastao na "Ivrea Interaction Design Institute" kojeg su smislili 5 profesora s tog instituta : Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino i David Mellis [10].

### **4.1 Mikrokontroler**

Mikrokontroler je programabilni uređaj koji prima i obrađuje signale s analognih i digitalnih pinova. Često se događa da se mikrokontroler zamjenjuje s mikroprocesorom i obratno a glavna razlika između jednog i drugog je u funkcionalnosti. Mikroprocesor je u suštini samo jedan dio mikrokontrolera i on postaje tek funkcionalan kada mu dodamo druge elektroničke komponente (npr. memoriju).

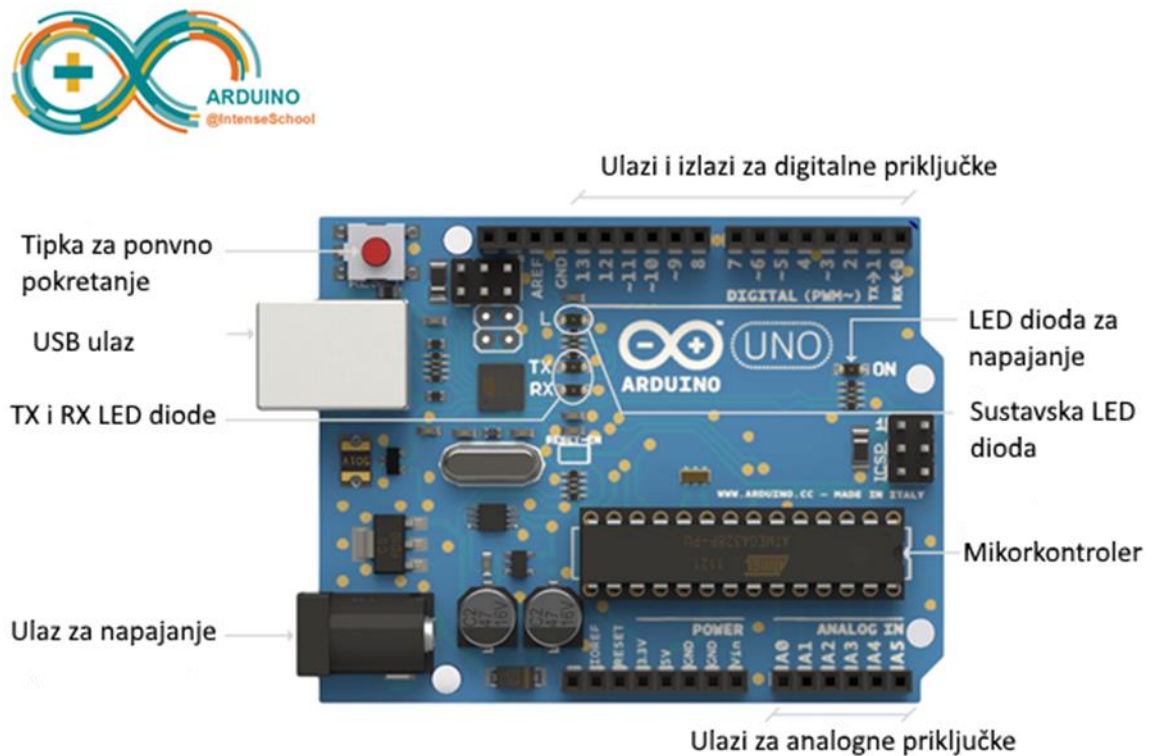
Da bi se uređaj nazvao mikrokontrolerom on mora imati procesor, RAM (engl. Random Access Memory) memoriju, ROM (engl. Read Only Memory) memoriju i ostalo. Svi ovi elementi moraju se nalaziti na jednoj pločici. Mikrokontroleri se koriste kako bi se s njima izvršavale određene operacije. To znači da se s njima konstruiraju sustavi s točno definiranom vezom između ulaza i izlaza.

Kako bi mikrokontroler imao neku svrhu potrebno je napisati programski kôd koji će se izvršavati u beskonačnoj petlji i imati određenu funkciju. Vrlo važna stavka kod programiranja mikrokontrolera su njegova ograničenja u vidu dostupne SRAM (engl. Static Random Access Memory) i EEPROM (engl. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) memorije. SRAM se koristi za izvršavanje programa, a EEPROM predstavlja memoriju za trajno spremanje podataka [15].

### **4.2 Arduino razvojna pločica**

Arduino razvojna pločica je tiskana pločica s mikrokontrolerom koja se sastoji od različitih komponenti. Mikrokontroler na tiskanoj pločici sastoji se od memorije, procesora, ulaza i izlaza. Postoje razne inačice Arduino-a poput Arduino Uno, Due, Robot, 101, Esplora, Mega, Zero, Pro,... U ovom radu će se koristiti razvojna pločica Arduino Uno. Glavni dijelovi Arduino Uno pločice (slika Slika 5) koja je ujedno i jedna od najosnovnijih Arduino razvojnih pločica su [10]:

- **Priključak za napajanje** – ovaj dio se koristi kada Arduino nije spojen na USB ulaz računala, kako bi se postavilo određeno napajanje;
- **TX i RX led diode** – one pokazuju komunikaciju između Arduina i računala;
- **USB ulaz** – koristi se za povezivanje Arduina s računalom;
- **Tipka za ponovno pokretanje**;
- **Digitalni izlazi/ulazi** – izlazi/ulazi koji se koriste za komunikaciju s elektroničkim komponentama, tj. za čitanje digitalnih signala;
- **LED dioda napajanja** – pokazuje korisniku da li je Arduino uključen;
- **Integrirana LED dioda** – LED dioda koja je tvornički spojena na izlaz 13 i automatski je spremna za rad;
- **Mikrokontroler** – mozak pločice pomoću kojeg se upravlja svim operacijama;
- **Analogni izlazi** – koriste za čitanje analognih signala, tj. informacija osjetila.



Slika 5. Dijelovi Arduino pločice

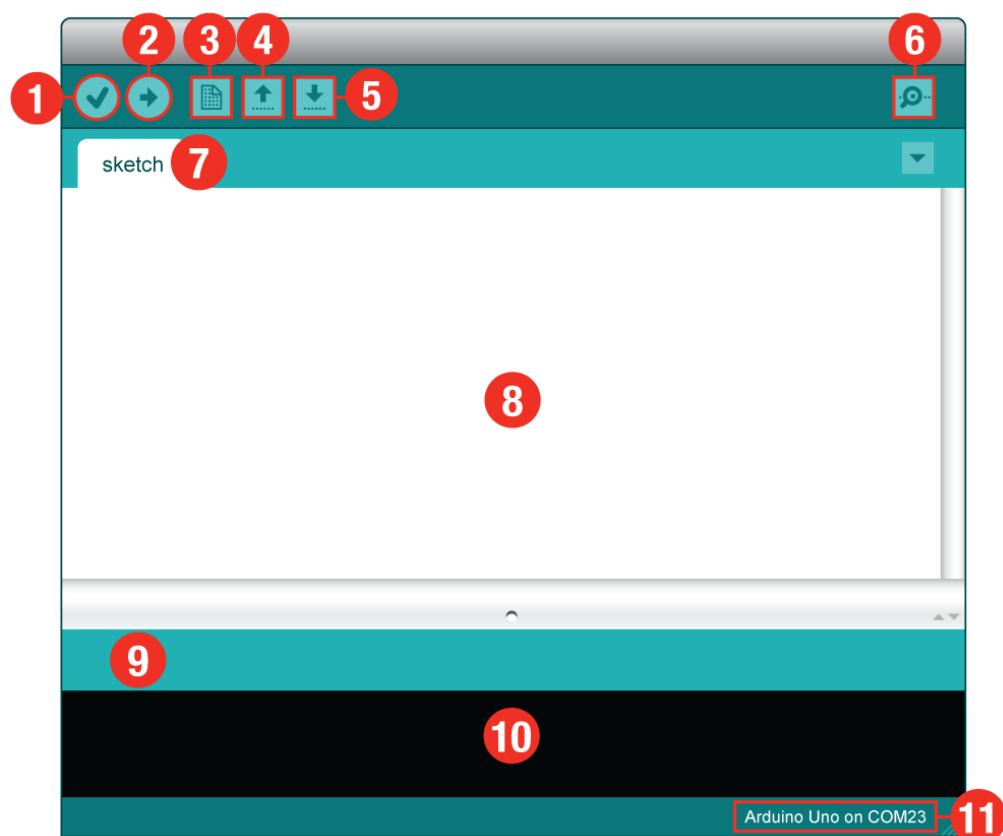
### 4.3 Integrirano razvojno okruženje Arduino

Arduino razvojno okruženje je otvorenog kôda te ga može koristiti bilo tko jednostavnim preuzimanjem sa službene stranice Arduina. Samo razvojno okruženje je napisano pomoću C/C++ funkcija, tako kada se programira u tom okruženju programira se na isti način kao u C

ili C++. Postoje inačice okruženja koje se mogu instalirati na operativnom sustavu Microsoft, Mac i Linux. Također, programska podrška koja se besplatno preuzme može se koristiti s bilo kojom Arduino pločicom.

Putem USB sučelja kojim se Arduino spoji s računalom prenosi se programski kôd koji smo napisali u razvojnom okruženju. U sklopu razvojnog okruženja postoje već predefimirani primjeri nekih programa za jednostavne projekte koji se mogu napraviti, što pomaže pri učenju. Primjeri koji se nalaze u razvojnom okruženju se dijele u 11 poglavlja a to su [10]:

- **Osnovni primjeri** – najosnovniji primjeri za rad s Arduino mikrokontrolerom (bljeskanje led diode, čitanje voltaže, ...);
- **Primjeri s digitalnim pinovima** – primjeri koji koriste digitalne pinove na Arduino mikrokontrolerom (bljeskanje bez stajanja, korištenje dugmeta, ...);
- **Primjeri s analognim pinovima** – primjeri s korištenjem analognih pinova (kalibracije senzora, podešavanja, ...);
- **Komunikacije;**
- **Osnovne strukture programa;**
- **Primjeri za senzore;**
- **Primjeri za led ekrane;**
- **Primjeri sa string varijablom;**
- **Primjeri sa spajanjem na USB sučelje;**
- **Primjeri s početnim i osnovnim priborom za rad;**
- **Arduino ISP** – primjer za razvoj osobne Arduino pločice.



Slika 6. Arduino razvojno okruženje ( engl. Integrated development environment-IDE) [21]

Na slici 6 prikazani su glavni elementi razvojnog okruženja za rad [21]:

1. „Učitavanje“ (eng. Upload) – učitava kôd u Arduino pločicu;
2. „Novi kôd“ (eng. New) – otvara novi kôd u novom prozoru;
3. „Otvori“ (eng. Open) – omogućava otvaranje već napisanog kôda;
4. „Spremanje“ (eng. Save) – sprema trenutno otvoreni kôd;
5. Serial Monitor – otvara novi prozor koji ispisuje informacije o stanju pločice i povezanih senzora;
6. Prikazuje se naziv projekta;
7. Mjesto za pisanje kôda (eng. Code area);
8. Područje gdje se prikazuju poruke;
9. Prikazuju se pogreške u kôdu;
10. Prikaz koji utor i koja pločica se koristi.

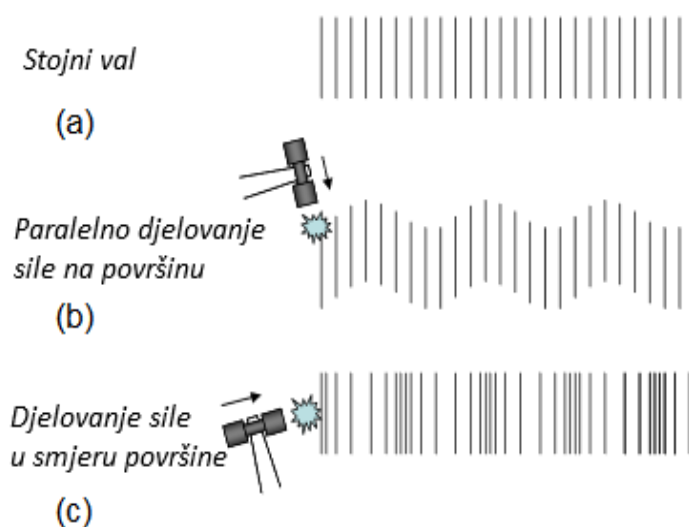


## 5. Sustavi s ultrazvučnom tehnologijom

Sustavi s ultrazvučnom tehnologijom u 21. stoljeću nalaze različitu primjenu u tehnologiji ali i u svakodnevnom životu. Velika prednost ove tehnologije je u tome što ultrazvučni valovi mogu prolaziti kroz sve vrste medija, uključujući krute tvari, tekućine i plinove osim u vakuumu. Zbog toga ovi sustavi su našli veliku primjenu u automobilske industriji (npr. parking senzori), robotici, medicini, domaćinstvima, itd. [7].

### 5.1 Osnovni principi ultrazvuka

Ljudsko uho može čuti frekvencije između 20 – 20,000 Hz, prema tome ultrazvuk se definira kao elastični val koji se nalazi iznad te frekvencije.



Slika 7. Vrste mehaničkih valova s obzirom na djelovanje sile [7]

Pri definiranju ultrazvučnih valova razlikuju se dvije vrste vala: rasuti (osnovni) i vođeni val. Rasuti val je val koji se širi kroz predmet ne ovisno o veličini i obliku predmeta, a vođeni val je val koji se širi blizu površine ili duž površine predmeta.

U prirodi se pojavljuju dvije vrste rasutog vala, a to su longitudinalni (slika 7. (b)) i transverzalni (slika 7. (c)). Longitudinalni val je u osnovi val gdje čestice titraju u smjeru širenja vala. Transverzalni val je val u kojem čestice titraju poprečno na smjer širenja vala.

Transverzalni val se ne može širiti kroz tekućine i plinove zbog nedostatka otpora čestica dok se longitudinalni val može širiti kroz sva agregatna stanja.

Kada se uzmu u obzir ostali parametri poput oblika i veličine nastaju vođeni valovi. Vođeni valovi u prirodi pojavljuju se u tri oblika: akustični valovi (SAW), „Lamb“ valovi i valovi koji se šire kroz štapove. U osnovi vođeni valovi najviše ovise o parametrima poput debljine ploče, radijusu štapa i frekvencije. Na osnovu ovih parametara vođeni valovi se mogu podijeliti u gore navedene skupine [7].

## 5.2 Ultrazvučna brzina

Najvažniji i najkorišteniji parametar kod primjene ultrazvučnih tehnologija je brzina vala. Brzina kod ultrazvučnih valova određena je ponajviše elastičnim svojstvima sredstva, gustoćom sredstva i geometrijskom obliku i veličini. Osnovne jednadžbe vezane za brzinu ultrazvučnog vala kroz čvrsta sredstva su [7]:

$$v_l = \sqrt{\frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}} * \frac{E}{\rho}, \quad (10)$$

$$v_t = \sqrt{\frac{1}{2(1+\nu)}} = \frac{G}{\rho}, \quad (11)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- $v_l$  – longitudinalna brzina vala,
- $v_t$  - transverzalna brzina vala,
- $\nu$  - Poissonov koeficijent<sup>2</sup>,
- $E$  -Youngov modul elastičnosti<sup>3</sup>,
- $\rho$  - gustoća sredstva

Uz brzinu vala bitni parametri koji se moraju uzeti u obzir prilikom primjene ultrazvučnih tehnologija su slabljenje vala, refleksija, prijenos, refrakcija i prijelaz između jednog sredstva u drugo [7].

---

<sup>2</sup> Poissonov koeficijent - određuje se kao omjer poprečnog smanjenja i uzdužnog produljenja nekog materijala

<sup>3</sup> Youngov modul elastičnosti – predstavlja mjeru za krutost materijala i jednak je  $\frac{\text{vlačno naprezanje}}{\text{produljenje}}$

### 5.3 Kreiranje i mjerenje ultrazvuka

Ultrazvučni valovi se mjere pomoću raznih senzora ili kako se često nazivaju transduktori. Transduktorom se naziva uređaj koji pretvara energiju iz jednog oblika u drugi i to je obično riječ o pretvaranju signala. U slučaju ultrazvučnih valova radi se o pretvaranju električne energije u mehaničku i obrnuto.

Najrašireniji način te vrste pretvaranja energije je piezoelektrični efekt. Piezoelektrični efekt opisuje se kao pojava stvaranja električnog naboja na površini posebno odrezanog kristala (npr. kvarc ( $\text{SiO}_2$ )). Zbog toga što je ovaj efekt reverzibilan, stvara se električni napon kada se dogodi deformacija materijala. Stoga materijali koji mogu proizvesti piezoelektrični efekt mogu se koristiti za stvaranje i detekciju ultrazvučnih valova.

Za mjerenje ultrazvučnih valova koriste se i beskontaktna tehnike. Ovaj tip mjerenja može se podijeliti na tri vrste [7]:

- optička metoda – *stvaranje i detekcija ultrazvučnih valova obavlja se s laserima;*
- elektromagnetska metoda – *stvaranje ultrazvučnih valova obavlja se pomoću magneta i bakrene zavojnice;*
- „air coupled“ metoda – *koristi zrak za generiranje valova.*

### 5.4 Ultrazvučni senzor HC–SR04

HC–SR04 je vrsta senzora koja se koristi pri izradi sustava regulacije pokazivača smjera na biciklističkoj jakni. Ova vrsta senzora prilagođena je za Arduino i druge mikrokontrolere kako bi se ostvarila što jednostavnija komunikacija istih. Zbog korištenja ultrazvučnih frekvencija ovaj senzor je nečujan ljudskom uhu za razliku od ostalih senzora zasnovanih na korištenju zvučnih signala za mjerenje udaljenosti.

Nedostatak ultrazvučnog senzora je njegova moguća nepreciznost prilikom mjerenja. Razlog tomu često je pozicija i kut pod kojim se nalazi predmet, zbog toga val se odbije od predmeta, ali se ne vrati nazad do senzora. Vraća se samo dio glavne latice odaslanog vala koji je kolinearan s normalom ultrazvučnog senzora. Neki materijali mogu i „upiti“ val kojeg šalje senzor, a neki predmeti su jednostavno premali da bi ih senzor detektirao. To su sve faktori koji se trebaju uzeti u obzir prilikom izgradnje sustava s HC-SR04 senzorom (slika 8). Unatoč svim ovim tehničkim problemima moguće je putem algoritma nadoknaditi sve tehničke nedostatke [16], [7].



Slika 8. Ultrazvučni senzor HC-SR04 [16]

Osnovni dijelovi HC-SR04 senzora su [16]:

- dva zvučnika – *jedan za slanje ultrazvučnog vala, drugi za primanje;*
- Vcc pin – *služi za konekciju s napajanjem;*
- Trig pin – *svrha mu je da mjeri vrijeme;*
- Echo pin - *šalje ultrazvučni signal;*
- GND pin - *služi za konekciju s uzemljenjem.*

Senzor radi tako da šalje ultrazvučni signal u radijusu od 15 stupnjeva s jednog od zvučnika. U isto vrijeme Trig pin se aktivira na stanje „HIGH“. Nakon toga senzor čeka da se signal vrati nazad i mjeri vrijeme, a povratni signal se očitava na drugom zvučniku. Ako se signal vratio na osnovu vremena i brzine zvuka možemo preračunati udaljenost objekta od senzora. Nakon toga pomoću formule:

$$\text{udaljenost} = \frac{\text{vrijeme putovanja}}{2} \cdot \text{brzina zvuka} \quad (12)$$

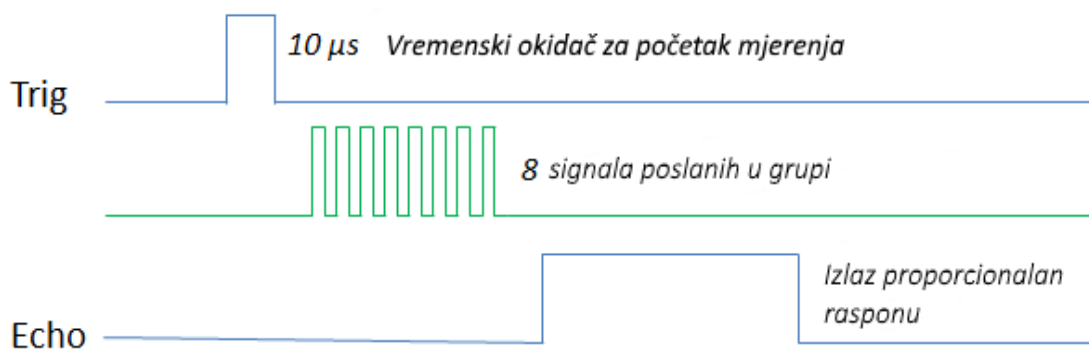
možemo dobiti udaljenost predmeta od senzora [16].

Tablica 1. Električne specifikacije HC – SR04 senzora [16]

<b>Radna voltaža</b>	<i>DC 5V</i>
<b>Jakost struje</b>	<i>15 mA</i>
<b>Radna Frekvencija</b>	<i>40 Hz</i>
<b>Maksimalna udaljenost mjerenja</b>	<i>4 m</i>
<b>Minimalna udaljenost mjerenja</b>	<i>2 cm</i>
<b>Kut mjerenja</b>	<i>15 stupnjeva</i>
<b>Trigger ulazni signal</b>	<i>10 <math>\mu</math>s TTL signal</i>
<b>Echo izlazni signal</b>	<i>Ovisi o Trigger ulaznom signalu</i>
<b>Dimenzije</b>	<i>4 · 20 · 15 mm</i>

Zbog svojih električnih karakteristika (tablica 1) poput radnog isosmjernog napona od 5V vrlo je lako kontrolirati ovaj senzor s mikrokontrolerom. S ovim senzorom moguće je mjeriti udaljenosti o 2 cm do 4 m uz preciznost od 3 mm. Senzor radi u tri osnovna koraka [16]:

1. Aktivira Trig pin na stanje „HIGH“ - na barem 10  $\mu$ s;
2. Nakon toga modul šalje osam 40 kHz signala i detektira da li je dobio signal nazad;
3. Ako je dobio signal računa ukupno vrijeme trajanja o kad je poslao signal (Slika 9.).



Slika 9. Vremenski dijagram ultrazvučnog senzora HC-SR04 [16]

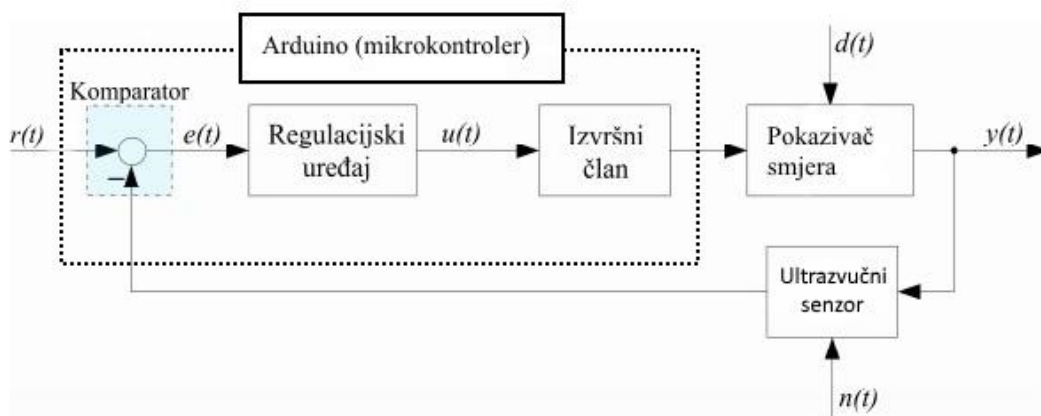
## 6. Automatska regulacija pokazivača smjera

Regulacija se provodi s mikrokontrolerom Arduino i ultrazvučnim osjetilom, koji su prethodnim poglavljima opisani. Posljednju odluku kada se sustav treba aktivirati donosi čovjek na osnovu potrebe za skretanjem.

### 6.1 Tehničke karakteristike sustava

Glavni upravljački element sustava je mikrokontroler Arduino, tj. verzija Uno Rev 3. Ova verzija Arduina zasnovana je na Atmega328P mikročipu. Za pokazivače smjera koriste se LED trake kojima je potrebno napajanje od 12 V koje Arduino ne može sam napajati. Stoga se za dodatno napajanje koriste tri punjive baterije od kojih svaka ima napon 4V te su spojene u serijski spoj. Pokazivači smjera su smješteni na zadnjoj strani jakne i postavljene su u obliku strelice koja pokazuje smjer lijevo i druge strelice koja pokazuje smjer desno.

Na oba rukava jakne nalaze se male crvene led diode koje pokazuju korisniku koja strelica je trenutno uključena (aktivna) kako ne bi došlo do pogreški, tj. do ugrožavanja sigurnosti prometa. Ultrazvučni senzori koji služe za detekciju pokreta nalaze se na rukavima jakne blizu dlanova biciklista kako bi se olakšalo pokretanje sustava.



Slika 10. Blok shema sustava automatske regulacije pokazivača smjera (obrađa autora)

Na slici 10 može se vidjeti da mikrokontroler Arduino u sustavu automatske regulacije ima ulogu komparatora, regulacijskog uređaja i izvršnog člana. Ulazni signal  $u(t)$  je odzivni signal koji je nastao na osnovu kretanja korisnika. Ultrazvučni senzor predstavlja mjerni član, a predmet regulacije su pokazivači smjera.

Kao pokazivač smjera koristi se led traka proizvođača V – TAC SMD 3528. Ovaj tip led trake na svakih 5cm ima led diodu crvene boje. Led diode imaju veoma velik broj lumena te je vidljivost i tijekom dana vrlo visoka.

Tablica 2. *Električne specifikacije LED trake*

<b>Potrošnja</b>	<i>3,6W po metru</i>
<b>Napon</b>	<i>DC 12V</i>
<b>Ulazna frekvencija</b>	<i>50/60 Hz</i>
<b>Ulazna snaga</b>	<i>0.4A</i>
<b>Lumen/LED</b>	<i>4/5</i>
<b>Kut svjetlosnog snopa</b>	<i>120 stupnjeva</i>
<b>Radni vijek</b>	<i>20.000 sati</i>

U tablici 2 možemo vidjeti električne specifikacije LED trake uz pomoć kojih možemo doći do konkretne potrošnje pokazivača smjera, tj. vremena rada sustava s jednim punjenjem.

Iz jednadžbi:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (13)$$

$$N = U * I, \quad (14)$$

gdje je:

- N – potrošnja trake po metru [W/m];
- R – otpor [ $\Omega$ ];
- U – napon [V];
- I – snaga [A],

dobijemo potrošnju pokazivača smjera. Potrošnja jednog pokazivača smjera iznosi 180 mAh, a kapacitet baterija u seriji 2.200 mAh. Iz toga se može zaključiti ako se pomoću sljedećeg izraza:

$$\text{Radni sati sustava} = \frac{\text{kapacitet baterije}}{\text{potrošnja uređaja}} * 0,7^4, \quad (15)$$

---

<sup>4</sup> Koeficijent vanjskih elemenata koji utječu na radni vijek baterije

dobije radni vijek sustava s jednim punjenjem iznositi će minimalno 4,27778 sati<sup>5</sup>. No u izračun je potrebno uključiti i mikrokontroler Arduino čija potrošnja iznosi 50 mAh. Stoga minimalni radni vijek sustava je 3,7561 sati.

Pretpostavka je da u gradu prosječni vozač bicikla skrene maksimalno 100 puta. Ako je skrenuo 100 puta to znači da je 100 puta pokrenuo jedan od pokazivača smjera koji je svaki put radio 12 sekundi (nakon 12 sekundi se sustav gasi). To znači da je sustav u ukupnom vremenu rada bio uključen i trošio bateriju 20 minuta. Na osnovu formule (15) može se reći da je prosječni radni vijek sustava 14 sati.

## **6.2 Način rada regulacije sustava**

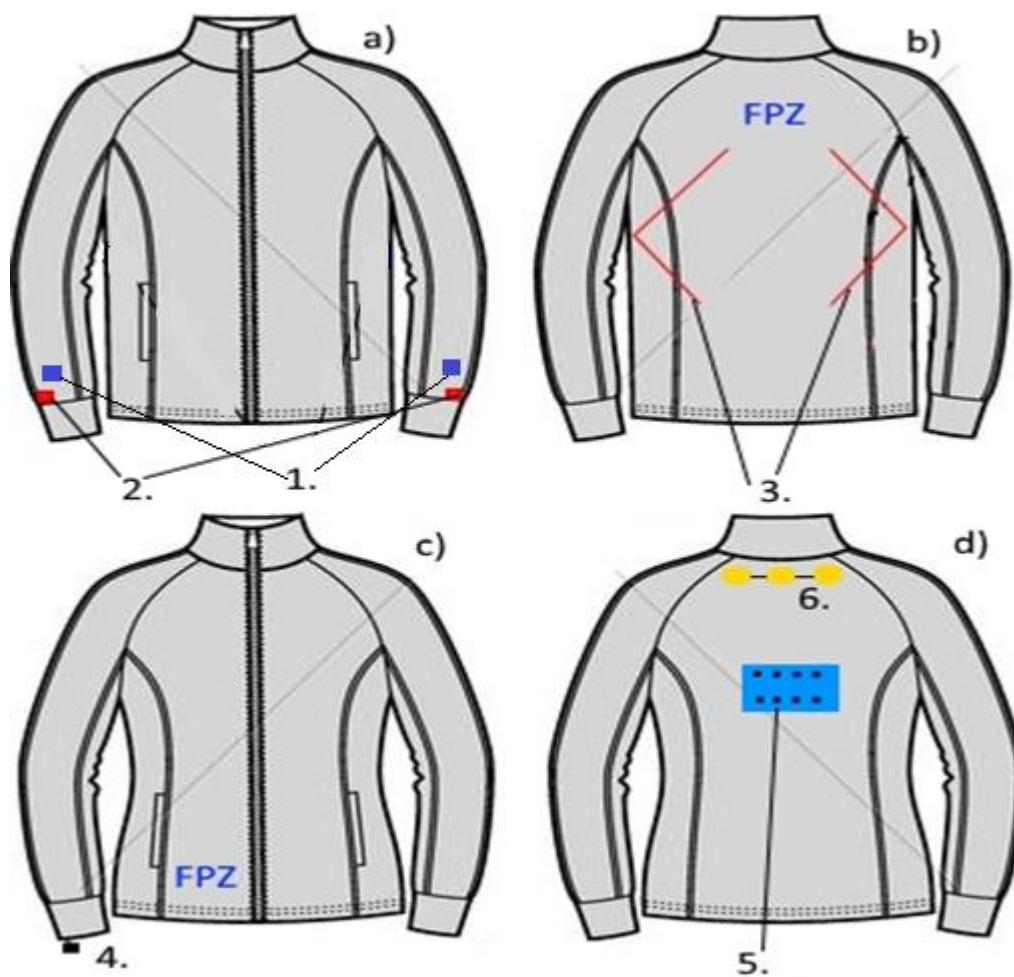
Regulacija se odvija tako da korisnik odluči gdje želi skrenuti u određenom vremenskom trenutku te potom prijede rukom preko senzora u smjeru kojem želi skrenuti. Nakon toga podiže lijevu ili desnu ruku (ovisno o smjeru kretanja) po pravilima skretanja biciklista prikazanim na Slika 13. U prvom koraku jedan od ultrazvučnih senzora registrira kretanju, nakon toga na osnovu očitanih vrijednosti sa senzora aktivira se jedan od pokazivača smjera.

U isto vrijeme mikrokontroler Arduino šalje signal prema crvenoj LED diodi (slika 11) da se postavi u stanje HIGH. Pokazivači smjera su automatski namješteni da rade 12 sekundi nakon aktiviranja. U tom vremenskom razmaku dovoljno je vremena da se obavi skretanje biciklista. Također, u sustav je ugrađen sklopka (ako korisnik sam želi prekinuti rad ili ako je napravio pogrešku) koji ima svrhu da prekine rad pokazivača smjera (slika Slika 11. c)).

---

<sup>5</sup> Izračun je dobiven uz pretpostavku da oba pokazivača rade konstantno i troše kapacitet baterija





Slika 11. Skica razmještaja dijelova na biciklističkoj jakni (obrađa autora)

Na slici 11 prikazani su glavni dijelovi sustava regulacije pokazivača smjera. Na skici a) prikazani su ultrazvučni senzori (1. koji se nalaze na rukavima jakne blizu dlana korisnika i sigurnosne led diode (2.)). Na skici b) prikazani su pokazivači smjera (3.) koji se nalaze na stražnjoj strani jakne. Skica c) prikazuje gumb (4.) za resetiranje sustava kojeg korisnik može staviti na svoju ruku. Skica d) prikazuje mikrokontroler Arduino (5.) i 3 baterije (6.) koje su spojene u seriju.

### 6.3 Algoritam rada automatskog regulacijskog sustava

U ovom potpoglavlju opisat će se pseudokôd rada sustava automatske regulacije pokazivača smjera.

Algoritam 1. Način rada sustava regulacije pokazivača smjera

```
1: pokazivac_L = laž, pokazivac_D = false, s1 = 0, s2 = 0;

2: sve dok (ima_napona)

3:     ako je (pokazivač_L = laž I s1 > n I s1 < m)

4:         ponavljaaj za (i1 < x, i1++)

5:             pokazivac_L = istina (uključiti)

6:         kraj ponavljanja

7:     kraj

8:     ako je (pokazivac_D = false I s2 > n I s2 < m)

9:         ponavljaaj za (i2 > y, i2++)

10:            pokazivac_D = istina (uključiti)

11:        kraj ponavljanja

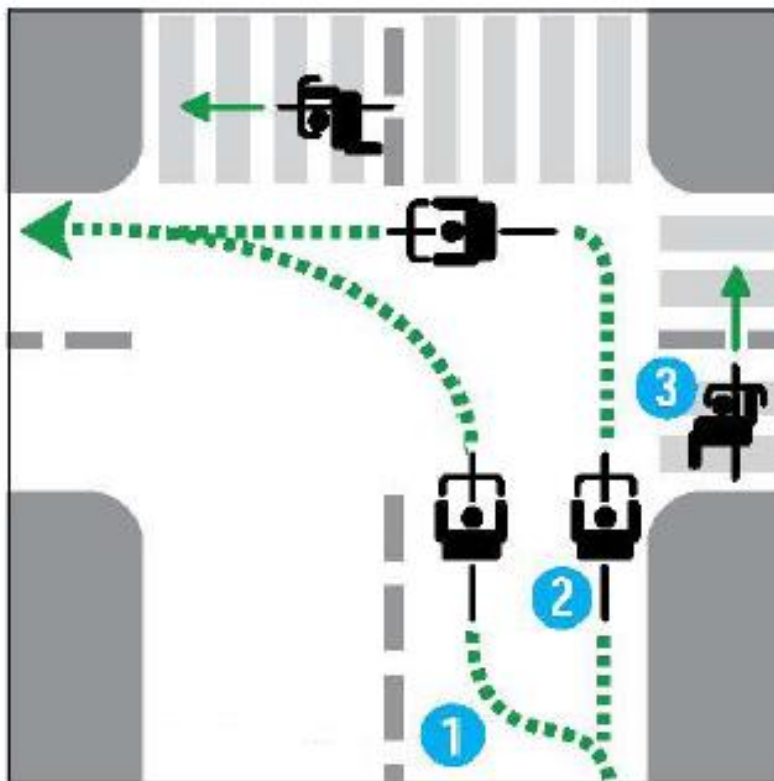
11:    kraj

12: kraj
```

U algoritmu 1, u liniji 1. definirane su varijable koje postavljaju pokazivače smjera u stanje „false“, tj. to nam govori da pokazivači ne rade. Algoritam radi na način da sve dok ima napona senzori očitavaju vrijednosti iz okoline. Ako se u određenom vremenskom trenutku pojavi vrijednost na senzoru *s1* između 8 (varijabla *n*) i 20 (varijabla *m*) centimetara pali se lijevi pokazivač smjera. U liniju 4. pomoću „for“ petlje se definira trajanje rada lijevog pokazivača smjera. U for petlji varijabla *x* predstavlja broj puta koliko će se puta for petlja izvršiti. U linijama 8., 9. i 10. definira se isti način rada desnog pokazivača smjera kao u lijevog. Samo u ovom dijelu algoritma očitavaju se vrijednosti s senzora *s2*, a varijabla *y* predstavlja broj puta koliko će se „for“ petlja izvršiti.

## 6.4 Primjena sustava regulacije za rješavanje prometnog problem lijevog skretanja biciklista u prometu

Veći broj istraživanja o nesrećama u kojima su sudjelovali biciklisti pokazala su da su oni najugroženiji kada skreću lijevo. Razlog tomu su vozila na koja biciklist mora paziti pri ovom skretanju. Vozila se mogu približavati iz svih smjerova (npr. vozila iz suprotnog smjera koja idu ravno, vozila koja skreću desno, itd.) i ugroziti samog biciklista. Iz svega navedenog može se zaključiti da je za bicikliste ovo najsloženiji prometni proces [5].



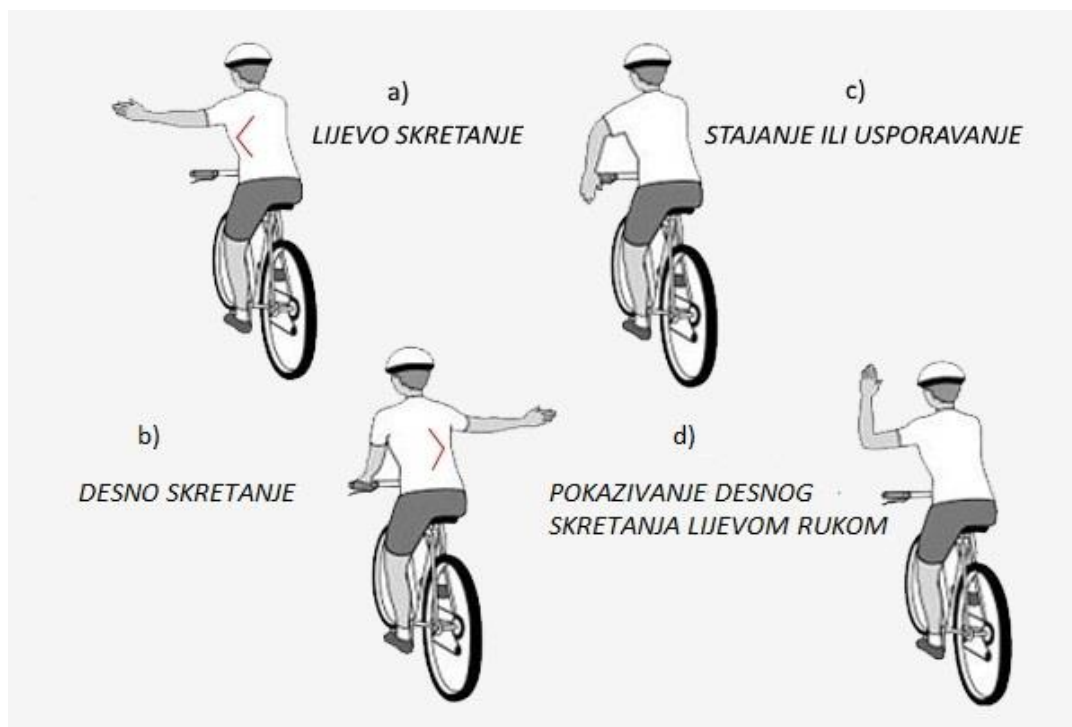
Slika 12. Izravno i neizravno skretanje lijevo

Na slici 12 mogu se vidjeti tri načina skretanja ulijevo:

1. Izravno skretanje;
2. Neizravno skretanje;
3. Silazak s vozila i obavljanje skretanja kao pješak.

### 6.4.1 Izravno skretanje biciklista lijevo

Izravno lijevo skretanje biciklista (eng. Take the Lane) je način skretanja koji većinom koriste iskusni vozači bicikla. Ovaj tip skretanja najviše se primjenjuje kod raskrižja s mješovitim prometom i na cestama s malim ograničenjem brzine i prometnim opterećenjem. Kako bi se ovakav način skretanja biciklista izvršio potrebno je biciklista uvesti s biciklističke trake na kolnik.



Slika 13. Signaliziranje biciklista pri skretanju (obrađeno od autora)

U prvom koraku biciklist signalizira rukom skretanje lijevo (slika Slika 13. a)), pogleda preko ramena prema nazad, i ako nema automobila iza njega, skrene u lijevu traku do sebe. Nakon toga ulazi u raskrižje i promatra u svim smjerovima reakcije ostalih vozača i ako je siguran da su ga drugi vozači prepoznali skreće na lijevu stranu [5], [9].

### 6.4.2 Neizravno skretanje biciklista lijevo

Neizravno lijevo skretanje biciklista (eng. Square the Corner) često se primjenjuje kod raskrižja s velikim prometnim opterećenjem ili ga koriste i (kod raskrižja koja nisu toliko zagušena) još uvijek ne toliko iskusni biciklisti. Isto tako primjenjuje se i kod cesta na kojima se biciklisti vode po biciklističkim stazama. Skretanje se odvija u dvije faze.

U prvoj fazi biciklist nastavlja ići ravno u raskrižje te staje bliže drugoj strani (slika Slika 12. 2) u prostoru za lijeve skretače, signalizirajući svoje skretanje podizanjem lijeve ruke. Nakon toga biciklist okrene svoje vozilo za 90 stupnjeva i čeka da mu se prolaz oslobodi.

Nakon što mu se prostor oslobodio, u drugoj fazi on signalizira svoje skretanje rukom te skreće na sporednu cestu [9].

### **6.4.3 Prolazak biciklista na raskrižju kao pješak**

Ovaj tip skretanja (eng. Walk the Bike) najviše koriste početnici u biciklističkom prometu radi straha od ugrožavanja sigurnosti sebe i drugih na semaforiziranom raskrižju. Biciklist silazi s vozila te obavlja svoje skretanje putem pješačkih prijelaza gurajući bicikl pored sebe (slika Slika 12. 3.).

### **6.4.4 Poboljšanje sigurnosti biciklista pomoću sustava regulacije pokazivača smjera**

Glavni cilj sustava opisanog u ovom radu je poboljšanje vidljivosti biciklista i informiranje ostalih sudionika o njegovim namjerama što rezultira povećanjem sigurnosti u prometu. Biciklist nakon određenog vremena može dobiti i veće samopouzdanje prilikom skretanja i tako se voziti u prometu ugodnije i sigurnije (što je jedno od glavnih načela prometnog sustava).

Na primjeru prometnog procesa lijevog skretanja biciklista primjenom sustava regulacije pokazivača smjera može se dobiti znatno povećanje sigurnosti. Ako uzmemo u obzir da u Hrvatskoj, a poglavito u Zagrebu drugi vozači često ne poštuju bicikliste i oduzimaju prednost biciklistima može se reći da se biciklisti suočavaju s različitim problemima prilikom skretanja. Stoga ovakav sustav pokazivača smjera na biciklističkoj jakni može uvelike pomoći biciklistu da obavi proces skretanja. Razlog tomu je povećanje vidljivosti biciklista vozačima koji se nalaze iza njega.

## **6.5 Prototip biciklističke jakne „Easy2Ride“**

Početni prototip jakne prikazan u ovom radu je samo prvi korak u ostvarenju „pametne“ biciklističke jakne nazvane *Easy2Ride*. Jedan takav sustav u budućnosti omogućio bi interaktivnost između čovjeka, jakne i bicikla. Komunikacija bi se ostvarivala putem raznih senzora i modula te cilj je napraviti jaknu koja će se moći nositi s lakoćom.



Slika 14. *Prototip sustava regulacije*

Na slici Slika 14 prikazan je prototip biciklističke jakne i na zadnjem dijelu jakne vidljiv je prototip sustava regulacije. LED trake su dijelom ušivene, a dijelom zalijepljene na jaknu. Žice kao i ostali elektronički dijelovi koji omogućuju prijenos signala do LED traka ušiveni su s unutrašnje strane jakne.

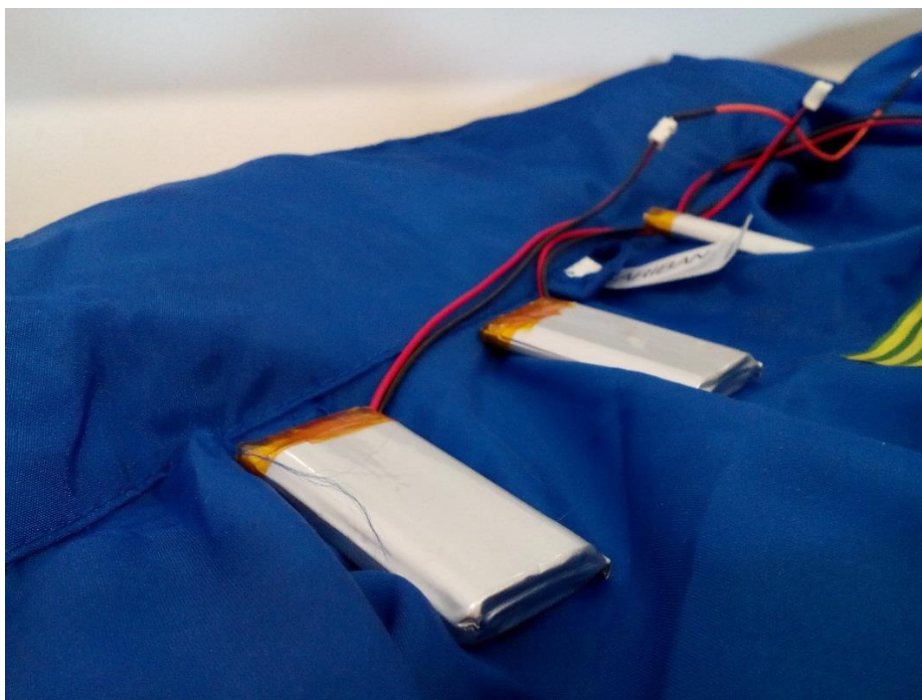
Slika 15 prikazuje sklopku za gašenje sustava koju korisnik može staviti na svoju ruku i time mu je olakšana kontrola sklopke. Sklopka je povezana s Arduinoom tako da prekida strujni krug i time isključuje sustav regulacije u potpunosti.



Slika 15. *Sklopka za gašenje sustava regulacije*

Sklopka prekida strujni krug između Arduina i baterija koje su prikazane slici 16, a baterije služe za napajanje Arduina i LED trake. Baterije su vrlo lagane i male i ideja je da ih se u budućoj „pametnoj jakni“ postavi u poseban odjeljak. Taj odjeljak bio bi od materijala koji je otporan na toplinu kako bi se izbjeglo jako zagrijavanje materijala jakne. Baterije koje se koriste su punjive i imaju mogućnost punjenja preko USB kabla i računala.



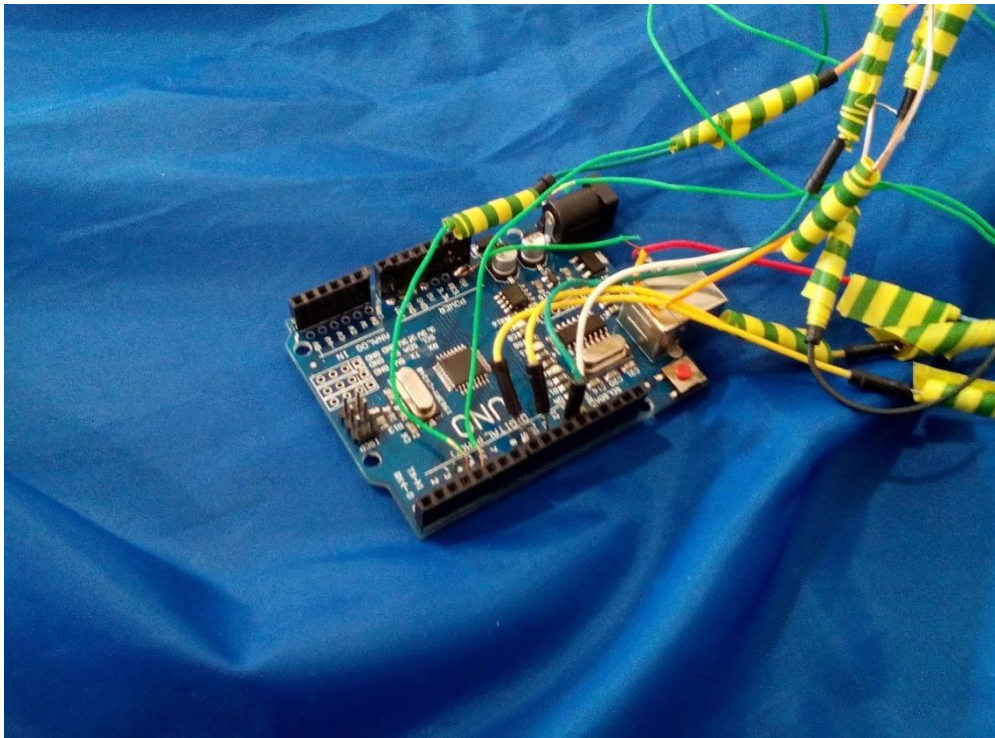


Slika 16. *Serijski spoj baterija za napajanje sustava*

Također, plan je za buduću „pametnu jaknu“ koristiti drugu verziju Arduina, a ne Arduino Uno prikazan na slici Slika 17. Verzija koja bi se koristila je Arduino LilyPad koji je posebno dizajniran za postavljanje na odjeću. Zbog svog okruglog oblika i male veličine vrlo lako ga je postaviti na bilo koji dio odjeće. Još jedna njegova prednost je što mu je potrebno manje energije za napajanje i rad. Ideja je da se koristi više takvih mikrokontrolera kako bi se pojednostavio sustav. U sustav bi bili ugrađeni i senzori koji bi detektirali pad biciklista i automatski slali poruke hitnim službama o lokaciji biciklista.

Pametna jakna nazvana *Easy2Ride* olakšavala bi biciklistima vožnju, interakciju s okolinom, interaktivnu komunikaciju s pametnim uređajem i ostalo. Najveća prednost takvog sustava bila bi osiguranje zabavne, sigurne i jednostavne vožnje bicikla.





Slika 17. *Arduino Uno*

Ultrazvučni senzori (slika Slika 18) koji se nalaze na rukavima jakne, postavili bi se tako da ne budu vidljivi. Napravili bi se posebni odjeljci na rukavima koji bi prikrivali senzore i tako načinili jaknu koja bi se lakše koristila. Cilj je skriti što više elektroničkih komponenata da bi se postigao dojam jednostavnosti i lakoće korištenja.



Slika 18. *Ultrazvučni senzor i sigurnosna LED dioda*

## 7. Zaključak

Biciklistički promet nedovoljno je prihvaćen i zastupljen kao održivo urbano prometno rješenje u mnogim državama svijeta. Iako se u gradovima Europe poput Amsterdama, Kopenhagena i Eindhovena mogu vidjeti ekonomske, ekološke, zdravstvene i ostale prednosti ove vrste prometa te iako su u većini gradova Europe putovanja u gradu kraća od 5 kilometara i dalje prednjači automobil kao osobno vozilo. Na tako malim udaljenostima u gradovima mnogo brže i ugodnije prometno sredstvo su bicikli.

Najveći uspjeh gore navedenih gradova koji su uspjeli uspostaviti biciklističku kulturu je u tome što su tijekom razvoja automoto industrije 1970-ih i 1980-ih shvatili da automobili ne mogu biti osnovno i najviše korišteno prijevozno sredstvo u gradovima. I tijekom tih godina su poticali svoje građane na korištenje bicikla te su kroz godine dobili jednu zavidnu biciklističku kulturu. No povećanjem biciklističkog prometa usporedno se povećavao i broj automobila u gradovima što je dovelo do novih sigurnosnih rizika poglavice za bicikliste.

U ovom radu je napravljena biciklistička jakna korištenjem Arduino platforme i ultrazvučnih senzora. Senzori su postavljeni ispod ruku korisnika kako bi automatski očitavali pokrete čovjeka. U sustav je ugrađena i sklopka za gašenje sustava ako bi došlo do pogreške pri odabiru smjera kretanja.

U urbanoj sredini s visokim prometnim opterećenjem biciklisti se suočavaju s mnogo sigurnosnih problema. Korištenjem jakne poput ove poboljšava se sigurnost biciklista, a i ostalih sudionika u prometu koji mogu vidjeti sljedeću namjeru biciklista.

## Literatura

- [1] CROW, Design manual for bicycle traffic, Den Haag, 2007.
- [2] Austroroads, Guide to Traffic Engineering Practice - Part 14 Bicycles, Australia, 1999.
- [3] Petrić J., Automatska regulacija: uvod u analizu i sintezu, Zagreb, 2012.
- [4] Crnošija P., Bjažić T., Osnove automatike, Zagreb, 2011.
- [5] Caltrans, Department of Transportation – State of California, Caltrans Standard. *Chapter 5: Intersections and interchanges.*, California, 2015.
- [6] Brčić D., Slavulj M., Planovi održive urbane mobilnosti – SUMP, Zagreb, 2014.
- [7] Mukhopadhyay S.C., Huang R.Y.M., Sensors, Berlin, 2008.
- [8] Fraden J., Handbook of Modern Sensors, San Diego, 2016.
- [9] Šimunović Lj., Ćosić M., Nemotorizirani promet, Zagreb, 2015.
- [10] Arduino - <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (10.05.2017.).
- [11] Automatska regulacija - <http://mafz.fpz.hr/~tosz/AUTOM/6autom-regulacija> (10.01.2017.)
- [12] Karsch, H. M., Hedlund, J. H., Tison, J., & Leaf, W. A. (2012, June). Review of Studies on Pedestrian and Bicyclist Safety, 1991-2007. (Report No. DOT HS 811 614). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- [13] Lovelace R., Beck S.B.M., Watson M., Wild A., (April, 2011). Assessing the energy implications of replacing car trips with bicycle trips in Sheffield, UK, Elsevier, Volume 39, Issue 4
- [14] Povijest biciklizma u Hrvatskoj - <https://www.hbs.hr/uncategorized/povijest-hbsa/> (15.6.2017.)
- [15] Mikrokontroler - <https://www.engineersgarage.com/> (15.08.2017.)
- [16] Ultrazvučni senzor - <https://e-radionica.com/productdata/HCSR04.pdf> (18.7.2017.)
- [17] Led traka - <http://v-tac.eu/led-lights-menu/led-strip-accessories/led-strip-3528-60-led/led-strip-smd3528---60leds-red-waterproof-detail.html> (18.7.2017)
- [18] Pametni gradovi - <https://drive.google.com/open?id=0B2UDPriaWbf7cE0wTGk4YVVoaEk> (19.07.2017.)
- [19] Matematičko modeliranje procesa - [https://www.fer.hr/\\_download/repository/AU\\_predavanje05\\_bez\\_animacija.pdf](https://www.fer.hr/_download/repository/AU_predavanje05_bez_animacija.pdf) (22.7.2017.)
- [20] Podaci o modalnoj razdiobi - <http://www.epomm.eu> (25.7.2017.)
- [21] Arduino razvojno okruženje - <https://www.sparkfun.com> (30.08.2017.)

## Popis slika

Slika 1. Poopćeni osnovni blok dijagram automatske regulacije s postavnim i mjernim članom [3] .....	4
Slika 2. Blokovska shema osnovnog sustava s povratnom vezom [4] .....	6
Slika 3. Vođenje sudionika u prometu prikazano u poprečnom profilu ceste [9] .....	12
Slika 4. Primjeri kolizije između vozača bicikla i drugih vozila [9] .....	14
Slika 5. Dijelovi Arduino pločice .....	16
Slika 6. Arduino razvojno okruženje ( engl. Integrated development environment-IDE) [21] .....	18
Slika 7. Vrste mehaničkih valova s obzirom na djelovanje sile [7] Mukhopadhyay S.C., Huang R.Y.M., Sensors, Berlin, 2008. ....	19
Slika 8. Ultrazvučni senzor HC-SR04 [16] .....	22
Slika 9. Vremenski dijagram ultrazvučnog senzora HC-SR04 [16] .....	23
Slika 10. Blok shema sustava automatske regulacije pokazivača smjera (obrađa autora) .....	24
Slika 11. Skica razmještaja dijelova na biciklističkoj jakni (obrađa autora) .....	27
Slika 12. Izravno i neizravno skretanje lijevo, .....	29
Slika 13. Signaliziranje biciklista pri skretanju (obrađa autora) .....	30
Slika 14. Prototip sustava regulacije .....	32
Slika 15. Sklopka za gašenje sustava regulacije .....	33
Slika 16. Serijski spoj baterija za napajanje sustava .....	34
Slika 17. Arduino Uno .....	35
Slika 18. Ultrazvučni senzor i sigurnosna LED dioda .....	35

## **Popis ilustracija**

### **Popis tablica**

Tablica 1. Električne specifikacije HC – SR04 senzora [16] .....	23
Tablica 2. Električne specifikacije LED trake.....	25

### **Popis grafikona**

Grafikon 1. Modalna razdioba prometa u pojedinim gradovima Europe u [%] [20].....	10
Grafikon 2. Modalna razdioba prometa u gradu Zagrebu u [%] [20] .....	11

## Popis priloga

### Prilog 1. Arduino kôd za regulaciju pokazivača smjera na biciklističkoj jakni

```
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
const int trigPin1 = 11;
const int echoPin1 = 12;
int brojac = 0;
int brojac1 = 0;
const int ledPin1 = 3;
const int ledPin2 = 4;
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void blinkanje() {
```

```
    digitalWrite(ledPin1, HIGH);
```

```
    delay(200);
```

```
    digitalWrite(ledPin1, LOW);
```

```
    delay(200);
```

```
}
```

```
void blinkanje1(){
```

```

digitalWrite(ledPin2, HIGH);
delay(200);
digitalWrite(ledPin2, LOW);
delay(200);

}

void loop()
{
    long duration, cm;

    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    pinMode(echoPin, INPUT);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

    cm = microsecondsToCentimeters(duration);

    if ( cm >= 5 && cm <= 20 ){

    for ( brojac = 0; brojac <=15; brojac++ )
    {
        blinkanje();
        Serial.println(cm);
        delay(300);
    }
}

```

```

    }

}

else {

    digitalWrite(ledPin1, LOW);

    Serial.print("Nema Kretnje_");

    Serial.println(cm);

}

delay(100);

}

void loop1()
{
    long duration1, cm1;

    pinMode(trigPin1, OUTPUT);
    digitalWrite(trigPin1, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin1, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin1, LOW);

    pinMode(echoPin1, INPUT);
    duration1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);

    // convert the time into a distance

```



```
cm1 = microsecondsToCentimeters(duration1);
```

```
if ( cm1 >= 5 && cm1 <= 20 ){
```

```
for( brojac1 = 0; brojac1 <=15; brojac1++ )
```

```
{
```

```
    blinkanje1();
```

```
    Serial.println(cm1);
```

```
    delay(300);
```

```
}
```

```
}
```

```
else {
```

```
    digitalWrite(ledPin1, LOW);
```

```
    Serial.print("Nema Kretnje_");
```

```
    Serial.println(cm1);
```

```
}
```

```
delay(100);
```

```
}
```

```
long microsecondsToCentimeters(long microseconds)
```

```
{
```

```
    return microseconds / 29 / 2;
```

```
}
```



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.  
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.  
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.  
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Upravljanje pokazivačima smjera na biciklističkoj jakni**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 28.8.2017 \_\_\_\_\_

Student/ica:

Antonić  
(potpis)